



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008113518/28, 07.04.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.04.2008

(43) Дата публикации заявки: 20.10.2009

(45) Опубликовано: 20.04.2010 Бюл. № 11

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: Ж.: Заводская лаборатория, Тягунов Г.В.
Установка для измерения кинематической
вязкости металлических расплавов, с.919-920,
№10, 1980. SU 1420471 A1, 30.08.1988. SU
1778628 A1, 30.11.1992. SU 868470 A1,
30.09.1981. JP 56122933 A, 26.09.1981.

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, К-2, ул. Мира, 19,
ГОУ ВПО "УГТУ-УПИ", центр
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Поводатор Аркадий Моисеевич (RU),
Конашков Виктор Васильевич (RU),
Вьюхин Владимир Викторович (RU),
Цепелев Владимир Степанович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

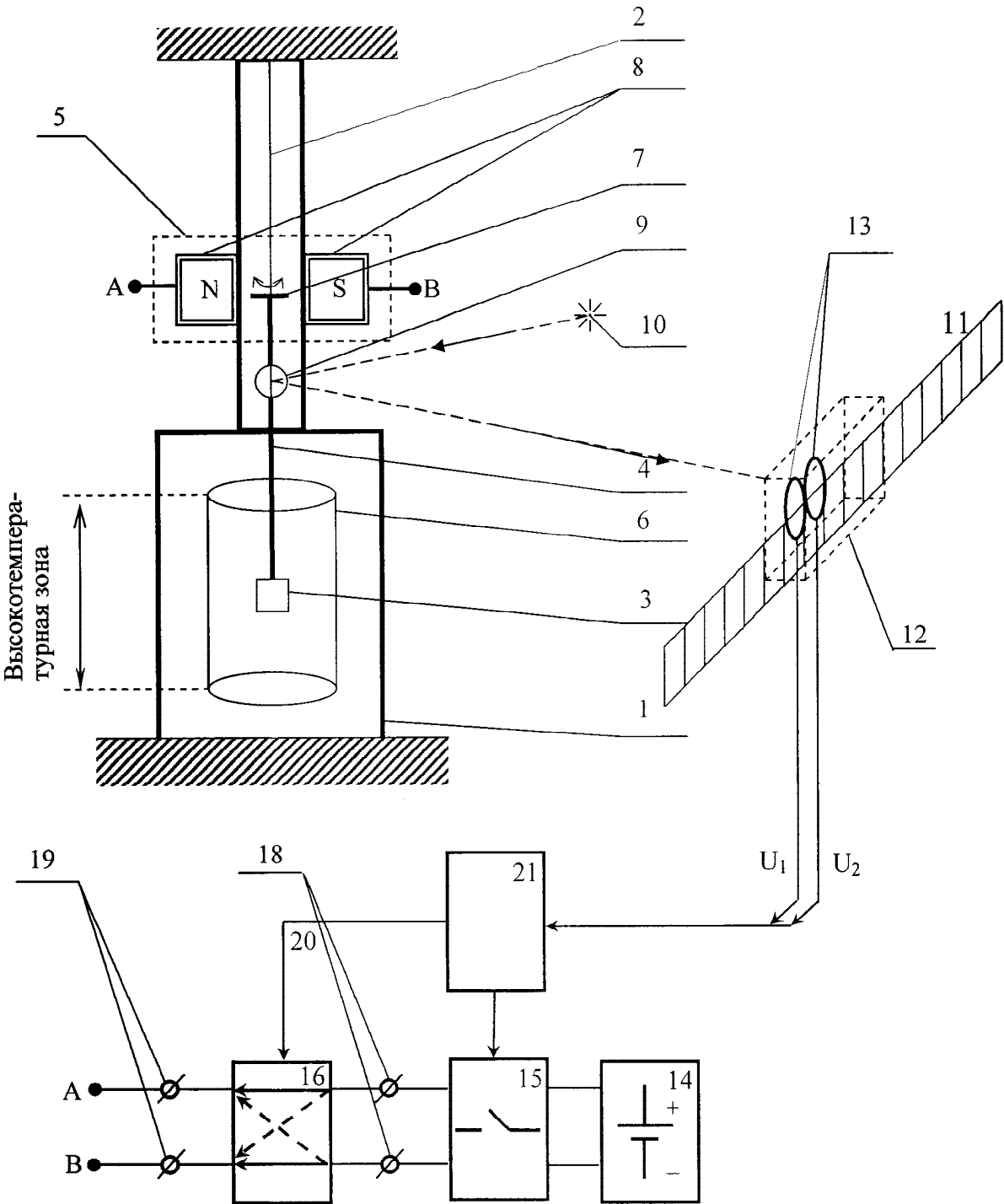
Государственное общеобразовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Уральский государственный
технический университет-УПИ" (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕКРЕМЕНТА ЗАТУХАНИЯ ПРИ БЕСКОНТАКТНОМ ИЗМЕРЕНИИ ВЯЗКОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технической физике, а именно к устройствам для определения, контроля и измерения физических параметров веществ, и предназначено для бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных металлических расплавов. Способ определения декремента затухания при бесконтактном измерении вязкости высокотемпературных металлических расплавов основан на освещении световым лучом от источника света зеркала, расположенного на закручиваемой упругой нити. На упругой нити подвешен тигель с расплавом. Далее осуществляют регистрацию амплитудно-временных параметров траектории светового луча, отраженного от этого зеркала. Затем измеряют полученный сигнал, отражающий параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом. При этом определяют величины нескольких

амплитуд крутильных колебаний A_i : стартовой A_0 , с которой начинают измерение затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, и A_n , в одной из которых заканчивают измерение. В качестве A_n используют измеренную амплитуду $A_n = A_e$ меньшей стартовой A_0 в e раз, где e - основание натуральных логарифмов. Также определяют число колебаний n между амплитудами A_0 и A_e . Затем, учитывая эти параметры, вычисляют логарифмический декремент затухания δ по формуле: $\delta = 1/n \{ \ln(A_0/A_n) \}$ для последующего определения кинематической вязкости ν . Техническим результатом изобретения является упрощение и оптимизация процедуры измерения вязкости при сокращении времени измерений с одновременным уменьшением угара компонентов расплава при сохранении достоверности и точности определения амплитудно-временных параметров затухания крутильных колебаний тигля с расплавом. 1



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION(21), (22) Application: **2008113518/28, 07.04.2008**(24) Effective date for property rights:
07.04.2008(43) Application published: **20.10.2009**(45) Date of publication: **20.04.2010 Bull. 11**

Mail address:

**620002, g.Ekaterinburg, K-2, ul. Mira, 19, GOU
VPO "UGTU-UPI", tsentr intellektual'noj
sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Povodator Arkadij Moiseevich (RU),
Konashkov Viktor Vasil'evich (RU),
V'jukhin Vladimir Viktorovich (RU),
Tsepelev Vladimir Stepanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obshcheobrazovatel'noe
uchrezhdenie vysshego professional'nogo
obrazovaniya "Ural'skij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet-UPI" (RU)**

(54) METHOD FOR DETECTION OF ATTENUATION DECREMENT IN CONTACTLESS MEASUREMENT OF VISCOSITY OF HIGH-TEMPERATURE METAL MELTS

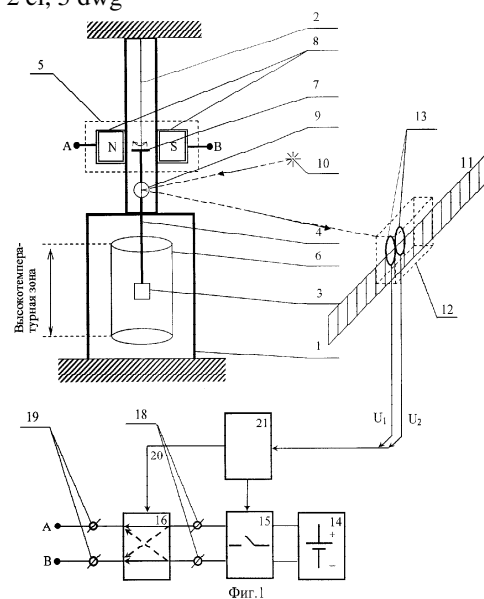
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: method for detection of attenuation decrement in contactless measurement of viscosity of high-temperature metal melts is based on illumination with light beam from source of mirror light located on twisted elastic thread. Crucible with melt is suspended on elastic thread. Further amplitude-time parametres are registered in trajectory of light beam reflected from this mirror. Then produced signal is measured, which reflects parametres of melt crucible twisting oscillations attenuation. At the same time values of several amplitudes of twisting oscillations A_j are detected: start one A_0 , from which measurement of melt crucible twisting oscillations attenuation is started, and A_n , in one of which the measurement is ended. A_n is represented by measured amplitude $A_n = A_e$, which is less than start A_0 e times, where e is basis of natural logarithms. Also a number of oscillations n is defined between amplitudes A_0 and A_e . Then, taking these parametres in account, logarithmic decrement of attenuation δ is calculated according to the following formula: $\delta = 1/n \{ \ln(A_0/A_n) \}$ for further detection of kinematic viscosity ν .

EFFECT: simplified and optimised procedure of viscosity measurement, with reduction of measurement time with simultaneous reduction of melt components waste with preservation of authenticity and accuracy of detection of amplitude-time parametres of melt crucible twisting oscillations attenuation.

2 cl, 5 dwg



Фиг.1

Предлагаемое изобретение относится к технической физике, а именно к устройствам для определения, контроля и измерения физических параметров веществ, и предназначено для бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных металлических расплавов, например стальных, нестационарным методом на основе оценки процесса затухания - по крайней мере, до уровня не менее 30% от начальной амплитуды - свободных крутильных колебаний тигля с расплавом. Дополнительной сферой применения являются металлургические процессы.

Измерение физико-химических параметров металлических жидкостей, расплавов и шлаков, в частности определение вязкости высокотемпературных расплавов, в объеме нескольких см³, позволяет проводить прогностический анализ материалов и давать рекомендации для получения сплавов с заданными характеристиками на предприятиях. В частности, политермы вязкости позволяют выделять характерные критические температурные точки и гистерезисные характеристики цикла нагрева-охлаждения. Для высокотемпературных - 1400°C и более, исследований расплавов, лишь немногие способы измерения вязкости могут быть использованы на практике. Один из них - нестационарный бесконтактный фотометрический способ определения кинематической вязкости на основе измерения амплитуд затухающих колебаний A_i , логарифмического декремента затухания $\delta = \ln(A_i/A_{i+1})$, периодов T_i , временных значений t_i , числа n_i крутильных колебаний тигля с расплавом. При этом используют произвольное, пригодное для конкретной установки, число n_i амплитуд A_i затухающих колебаний для определения декремента затухания δ (см. Г.В.Тягунов и др. Установка для измерения кинематической вязкости металлических расплавов. Журн. «Заводская лаборатория», 1980, №10, с.919, 920).

Известен нестационарный бесконтактный фотометрический способ определения кинематической вязкости ν путем регистрации амплитудно-временных параметров траектории светового луча, отраженного от зеркала, закрепленного на закручиваемой упругой нити, на которой также подвешен тигель с расплавом, а в конечном итоге - измерения амплитудных параметров затухания крутильных колебаний (и вычисления на их основе δ) тигля с расплавом, происходящего после выключения процесса принудительного закручивания упругой нити на определенный угол. Такая многократно повторенная (десятки раз за один эксперимент) процедура - закручивание посредством электромагнитного узла (устройства авторазгона) тигля с расплавом, подвешенного на упругой нити - отключение узла разгона - свободное затухание и визуальное, по оптической линейке, измерение максимальных отклонений отраженного светового луча, т.е. амплитуд, затухающих крутильных колебаний, является типовым способом измерений вязкости расплавов. При этом используется вычисленное значение логарифмического декремента затухания δ , для чего измеряются визуально начальная амплитуда затухающего колебания A_0 , какая-либо произвольная амплитуда, условно принимаемая за конечную - A_n , и число колебаний n между ними (см. С.И.Филиппов и др. Физико-химические методы исследования металлургических процессов. М.: Металлургия, 1968, с.242, 243, 246-251, аналог). Основой вычисления кинематической вязкости ν является ее связь с логарифмическим декрементом затухания δ :

$$\nu \sim \delta^2 \quad [1]$$

(см. формулу XVI-37, вышеуказанное С.И.Филиппов..., с.248).

Существует ряд теоретических допусков при вискозиметрии расплавов, в частности скольжение между расплавом и тиглем отсутствует, амплитуды колебаний малы, а несколько первых колебаний в расчет не берут (см. вышеуказанное С.И.Филиппов...,

с.246, 247).

С физической точки зрения, с одной стороны, при больших амплитудах крутильных колебаний - несколько первых затухающих колебаний - в расплаве возможна неконтролируемая турбулентность, а не только необходимая ламинарность, с учетом трения внутри слоев расплава, трения со стенками тигля, инерционности расплава. Это снижает достоверность определения вязкости расплава и, в конечном итоге, точность определения вязкости. С другой стороны, при малых амплитудах крутильных колебаний возникает проблема отсутствия течения и перемещения расплава (в пределе до нуля - аналогично твердому образцу) и, фактически, увеличения вычисленного значения вязкости (в пределе до бесконечности). Поскольку количественные физические критерии для участков измерений не вычислены, оптимизация измеряемого участка затухающих крутильных колебаний затруднена.

Недостатком вышеуказанного способа измерения вязкости является продолжительность, уникальность и сложность каждого эксперимента вследствие отсутствия строгого обоснования параметров и хода эксперимента, по существу - неизбежная привязка процедуры и результатов эксперимента к конкретной установке, при произвольности и субъективности выбора экспериментатором количества колебаний n между измеряемыми амплитудами A_0 и A_n , например, 8...11 колебаний (см. вышеуказанное С.И.Филиппов..., с.249). Это затрудняет сравнительную оценку достоверности и точности полученных данных.

Известен способ бесконтактного фотометрического измерения вязкости металлических расплавов, используемый в компьютеризованной установке для измерения вязкости расплавов, при котором определяют угол поворота исследуемого образца в тигле, подвешенном на закручиваемой упругой нити в зоне нагрева исследуемого образца, перед регистрацией параметров затухания осуществляют закручивание упругой нити посредством временного включения закручивающего электромагнитного узла, регистрируют близкорасположенными фотосенсорами траекторию светового луча, отраженного от зеркала, измеряют сигнал, отражающий амплитудно-временные параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, после чего вычисляют δ и ν (см. Л.Д.Сон и др. Установка для измерения вязкости, поверхностного натяжения и плотности высокотемпературных расплавов. - Труды X Российской конференции: Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов, т.2, с.47-50, Екатеринбург-Челябинск, 2001 г., аналог).

В данном случае авторы измеряли моменты t_1 , t_2 засветки фотосенсоров и разность между ними Δt при прохождении отраженным световым лучом линейного отрезка ΔA вблизи точки смены полярности колебания амплитуды. Результаты усредняли, обрабатывали компьютером, вычисляли амплитуды A_i и рассчитывали δ с использованием метода наименьших квадратов. В области начальных («больших»), примерно, десяти - тридцати затухающих колебаний существует вышеуказанный линейный участок траектории, что позволяет считать линейной зависимость $\Delta t = \varphi(\Delta A)$. При дальнейшем уменьшении амплитуды A_i («хвостовая» часть затухающих колебаний) появляется нелинейность в этом соотношении: $\Delta t \neq \varphi(\Delta A)$, вследствие вырождения наклонной прямой из короткого отрезка посреди колебательной косинусоиды в собственно косинусоиду. Существуют и аппаратные ограничения, обусловленные конечными размерами (несколько мм) фотосенсоров, даже сдвинутых вплотную, и светового пятна, засвечивающего фотосенсоры, при этом Δt и, соответственно, ΔA не могут быть меньше каких-то конкретных для данной установки величин даже с регистрацией только переднего или заднего фронтов

светового пятна. Это ограничивает применение малых амплитуд и ведет к уменьшению точности расчетов δ . С другой стороны, при затягивании эксперимента возрастает угар компонентов расплава. Отметим, что существуют летучие расплавы, например исследованная авторами легатура ЖНМГ для чугуна, содержащая, примерно, 40% Ni, 5% Mg, 1% редкоземельных металлов, 2% C, 0,005% (Bi+Te), которая почти полностью испаряется за 10 мин при 1550°C. В этом случае эксперимент скоротечен и измерить необходимые для расчетов колебания весьма проблематично.

Недостатком описанного способа является уникальность и сложность каждого эксперимента вследствие непредсказуемости выбора измеряемого участка затухающих крутильных колебаний, количества колебаний n между стартовой A_0 и A_n амплитудой затухающих колебаний, использованных для определения δ , а также невозможность сравнения процедуры эксперимента с ходом других экспериментов.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технической сущности и достигаемому результату является используемый в установке для измерения кинематической вязкости металлических расплавов способ бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных металлических расплавов, основанный на освещении световым лучом от источника света зеркала, расположенного на закручиваемой упругой нити, на которой подвешен тигель с расплавом, регистрации амплитудно-временных параметров траектории светового луча, отраженного от этого зеркала, и последующем измерении полученного сигнала, отражающего параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом (см. Г.В.Тягунов и др. Установка для измерения кинематической вязкости металлических расплавов. Журн. «Заводская лаборатория», 1980, №10, с.919, 920 - прототип). В данном способе для измерения δ также используется \ln отношения амплитуд либо скоростей прохождения линейного отрезка ΔA за время Δt посредством измерения временных интервалов Δt , число колебаний n между амплитудами, период крутильных колебаний T . Недостатком способа является уникальность и сложность каждого эксперимента вследствие зависимости процедуры от параметров конкретного оборудования, произвольности и субъективности выбора параметров затухающих колебаний для определения δ : например, n предлагается принять равным 4-5 для данной конструкции экспериментальной установки. При этом произвольно и субъективно выбранная последняя измеренная амплитуда A_n может быть любой величины и изменяться как от опыта к опыту с одним расплавом, так и для разных расплавов. Описанный способ требует уникальных длительных многократных измерений, дополнительной статистической (усредняющей) обработки результатов, не обеспечена стандартизация процедуры измерения параметров затухания α , в результате - вязкости расплавов, что затрудняет сравнение результатов различных экспериментов. К тому же, при длительных экспериментах неизбежно возрастание угара компонентов расплава.

Задачей предлагаемого изобретения является упрощение и оптимизация процедуры определения вязкости высокотемпературных металлических расплавов при сокращении времени измерений и уменьшении угара компонентов расплавов в большинстве экспериментов, а также обеспечение сравнимости разных экспериментов, что обеспечит стандартизацию процедуры измерений.

Для решения поставленной задачи предлагается способ определения декремента затухания при бесконтактном измерении кинематической вязкости высокотемпературных металлических расплавов.

В способе бесконтактного измерения вязкости высокотемпературных

металлических расплавов, основанном на освещении световым лучом от источника света зеркала, расположенного на закручиваемой упругой нити, на которой подвешен тигель с расплавом, регистрации амплитудно-временных параметров траектории светового луча, отраженного от этого зеркала, и последующем измерении

5 полученного сигнала, отражающего параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, определении величины амплитуд крутильных колебаний A_i - стартовой A_0 , с которой начинают измерение затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, и A_n , в которой заканчивают измерение, числа колебаний n_i между ними,

10 вычислении на их основе логарифмического декремента затухания крутильных колебаний δ , по формуле

$$\delta = 1/n \{ \ln(A_0/A_n) \} \quad [2]$$

для последующего определения кинематической вязкости ν , предлагается измерение амплитуд A_i осуществлять до тех пор, пока значение амплитуды A_n станет в e раз

15 меньше значения амплитуды A_0 .

Кроме того, в качестве стартовой амплитуды A_0 выбирают любую (от первой до i -й), например 5-ю.

Отличительные признаки предложенного технического решения обеспечивают

20 возможность упрощения и оптимизации процедуры определения амплитудно-временных параметров затухания крутильных колебаний тигля с расплавом и вычисления логарифмического декремента затухания δ , а в конечном итоге, при сохранении достоверности и точности его определения, вязкость расплава, в ряде

25 случаев ускорение экспериментов и уменьшение угара компонентов расплава, а также сравнимость результатов разных экспериментов.

Необходимо отметить, что при использовании в расчетах по формуле [2] амплитуды A_e в качестве $A_i=A_n$ и с учетом того, что $A_0=eA_n$, формула [2] после преобразований упрощается и приводится к следующему виду:

30
$$\delta = 1/n \{ \ln(A_0/A_n) \} = 1/n \{ \ln(1/1/e) \} = 1/n \{ \ln e \} = 1/n \{ \ln 1/0,368 \} = 1/n \quad [3]$$

В этом случае логарифмический декремент затухания δ равен величине, обратной числу колебаний n между колебаниями с амплитудами A_0 и $A_i=A_n$. Это и позволяет при сохранении достоверности и точности ускорить, упростить и оптимизировать

35 процедуру измерений.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами:

фиг.1 - блок-схема измерительного комплекса;

фиг.2 - осциллограмма траектории отраженного светового луча, соответствующей крутильным колебаниям тигля с расплавом;

40 фиг.3 - экспериментальные данные затухающих крутильных колебаний и погрешности измерений в виде стандартных отклонений σ^2 : а - чистая электротехническая медь, $t^\circ=1150^\circ\text{C}$; б - нирезистовый чугун, $t^\circ=1350^\circ\text{C}$;

фиг.4 - экспериментальные данные затухающих крутильных колебаний и погрешности измерений в виде коэффициентов вариации C_v ; а - чистая электротехническая медь, $t^\circ=1150^\circ\text{C}$; б - нирезистовый чугун, $t^\circ=1350^\circ\text{C}$;

45

фиг.5 - расчетные величины декремента затухания δ для 4 вариантов расчета по формуле: $\delta=1/n \{ \ln(A_0/A_i) \}$: а - чистая электротехническая медь, $t^\circ=1150^\circ\text{C}$; б - нирезистовый чугун, $t^\circ=1350^\circ\text{C}$.

50 Устройство для реализации способа определения декремента затухания при бесконтактном измерении вязкости металлических расплавов содержит вакуумную печь 1, в зоне нагрева которой на упругой нити 2 коаксиально подвешен тигель 3 с расплавом, соединенный с упругой нитью 2 с помощью стержня 4. Вне области

высокотемпературной зоны нагрева печи 1 расположен электромагнитный узел 5, предназначенный для закручивания упругой нити 2. Высокотемпературную зону создает коаксиальный цилиндрический нагреватель 6, питающийся от трехфазной сети. На верхнем конце стержня 4 зафиксирован магнитный элемент 7, выполненный в виде диска. Источник 8 электромагнитного поля (катушки) совместно с магнитным элементом 7 являются составными частями электромагнитного узла 5. Оптическое измерительное устройство состоит из зеркала 9, закрепленного на верхнем конце стержня 4, источника света 10 и контрольной измерительной шкалы - линейки 11, а также фотоприемного устройства 12, содержащего оптически изолированные друг от друга оптосенсоры 13. Блок электропитания 14 с выключателем 15 соединен с электромагнитным узлом 5. Переключатель полярности 16 блока питания 14 содержит реле 17 (на фиг.1 не показано), имеет входные 18 и выходные 19 пары силовых клемм, а также управляющий вход 20. Управляющий блок 21, соединенный с измерительным комплексом, и производящий, в частности, обработку результатов экспериментов, соединен с фотоприемным устройством 12, выключателем 15 блока питания 14 и переключателем полярности 16.

В качестве упругой части подвески 2 используется нихромовая нить длиной около 650 и диаметром 0,15 мм. Объем исследуемого металлического расплава в тигле 3 составляет около 3 см. куб. Масса магнитного элемента 7, выполненного из стали в виде диска, меньше или равна массе тигля 3 с размещенным в нем образцом расплава. Магнитная система электромагнитного узла 5 - источника 8 магнитного поля, выполнена в виде статора электродвигателя постоянного тока с потребляемой мощностью примерно 70 мВт, соединенного через переключатель полярности 16, содержащий два перекидных контакта, выполненный на двухступенчатом реле 17 (на фиг.1 не показано), содержащем управляемое реле типа РМУГ, и управляющее им твердотельное оптореле МОП - типа PVG612 фирмы IR с низковольтным блоком питания 14. Коаксиальный нагреватель 6, выполненный из молибдена и обеспечивающий изотермическую зону, включен постоянно в течение всего эксперимента. Зеркало 9 имеет площадь 1 см кв., свет попадает на него от постоянно включенного источника света 10-12 В лампы через окно-иллюминатор (на схеме не показано) и отражается на полупрозрачную контрольную оптическую шкалу-линейку 11 с ценой деления 1 мм и размером 600 мм (с нулем шкалы посередине). В области нуля шкалы линейки 11 зафиксировано фотоприемное устройство 12, содержащее расположенные вплотную друг к другу оптически изолированные фотодиодные интегральные схемы (оптосенсоры) 13 TSL250 фирмы TAOS. В качестве управляющего блока 21 используется персональный компьютер не ниже уровня Pentium 1.

Фотометрическое определение декремента затухания при бесконтактном измерении вязкости металлических расплавов осуществляется следующим образом.

Подготавливается изучаемый образец определенной массы, затем он в тигле 3 подвешивается в вакуумную печь 1 в район изотермической зоны, включается источник света 10, отраженный от зеркала 9 световой луч устанавливается котирующим механизмом на середину оптической шкалы 11. Затем создается вакуум до 0,01 Па, включают нагреватель 6 для длительного нагрева изотермической зоны до температуры, при которой начинают процесс измерений. Например, при исследовании авторами чугуна, легированного никелем, редкоземельными металлами, марганцем и др. (С - 3%, Si - 2%, Mn - 2%, Ni - 15%, Cu - 6%) проходит около 2,5 часов для достижения одной из требуемых по целям эксперимента температуры 1270°C. После

нагрева до нужной температуры исследователь включает выключатель 15 блока электропитания 14, электропитание +15 В через переключатель полярности 16 подается на электромагнитный узел 5, который начинает закручивать упругую нить 2. После этого, примерно через 50 мс - 2 с, движущийся отраженный световой луч
 5 попадает на один из оптосенсоров 13 фотоприемного устройства 12, на выходе фотоприемного устройства 12 появляется соответствующий сигнал U_1 , который через выходную шину фотоприемного устройства 12 вводится в блок 21. Этот сигнал является стартовым для блока 21, который начинает процесс управления
 10 измерительным комплексом. Сигналы U_1 , U_2 оптосенсоров 13 появляются последовательно, в момент засветки каждого из них отраженным световым лучом. Динамика прохождения отраженным световым лучом оптосенсоров 13 (t_1 , t_2) и появление на блоке 21 сигналов оптосенсоров 13 U_1 , U_2 обеспечивают появление на
 15 выходе блока 21 сигнала 20 для коммутации переключателя полярности 16, который управляет динамикой закручивания упругой нити 2 и тигля 3 с расплавом.

На фиг.2 приведена осциллограмма траектории 22 отраженного светового луча при затухающих колебаниях упругой нити 2 с тиглем 3, содержащим исследуемый расплав. После окончания разгона и достижения необходимой амплитуды A_0 (порядка 250-300
 20 мм по шкале-линейки 11) колебательной траектории 22 отраженного светового луча управляющий блок 21 отключает блок электропитания 14, а в конечном итоге электромагнитный узел 5, после чего наступает режим свободно затухающих крутильных колебаний 23 упругой нити 2 с тиглем 3, содержащим расплав. С этого
 25 момента ($t_0=0$, $A_1=A_0$) начинают собственно процедуру измерения амплитудно-временных параметров затухающих крутильных колебаний 23 для вычисления декремента затухания δ и в конечном итоге вязкости ν . Отметим, что период колебаний $T=4,2$ с однозначно связан с числом колебаний n для каждого конкретного эксперимента на данной установке при времени полного затухания колебаний 22 до
 30 нескольких десятков мин. На колебательной траектории 22 отмечены амплитудные экстремумы, начиная с A_0 до A_i , моменты времени t_1 , t_2 прохождения линейного участка ΔA колебательной траектории 22 отраженным световым лучом через оптосенсоры 13 фотоприемного устройства 12.

Авторами получены экспериментальные данные затухающих крутильных колебаний тигля 3 с расплавом, приведенные на фиг.3: а - чистая электротехническая медь, $t^\circ=1150^\circ\text{C}$; б - чугун, $t^\circ=1350^\circ\text{C}$.

Также приведены соответствующие уравнения экспонент затухающих крутильных колебаний 23 для времени t и числа n колебаний, стандартные отклонения σ^2 24,
 40 отмечена точка амплитуды $A_i=A_0/e=A_e$ 25 и σ^2 26 для нее. Условная амплитуда Y_i , определяемая по времени прохождения светового луча на линейном участке ΔA колебательной траектории 22 через оптосенсоры 13: $Y_i \sim 1/\Delta t = 1/(t_1 - t_2)$, однозначно связана с амплитудами A_i . Время Δt измеряется в тактах центрального процессора
 45 управляющего блока 21, например, тактовая частота - 166 МГц для Pentium I. Аналогичные данные приведены на фиг.4 и отличаются тем, что вместо стандартного отклонения δ^2 24 приведен коэффициент вариации $C_v = (\sigma/A_{\text{средн}})100\%$ 27, т.е. относительная ошибка в %, учитывающая стандартное отклонение σ^2 24, в том числе
 50 и для A_e 28. Данные фиг.3, 4 демонстрируют, что, с одной стороны, использование первых 5...10 амплитуд A_i в качестве A_n вызывает значительные ошибки (разброс как σ^2 24, так и C_v 27), что соответствует данным некоторых исследователей (см. вышеуказанное С.И.Филиппов..., с.246), с другой стороны, использование «хвоста»

экспоненты требует неоправданно больших временных затрат, при которых неизбежен угар компонентов расплава, а точность растет незначительно, к тому же есть опасность захода в нелинейную область амплитуд, где линейный отрезок ΔA косинусоиды 22 (см. фиг.2) вырождается в собственно косинусоиду, после чего невозможно оценить ни достоверность, ни точность результатов, и, в-третьих, использование A_e 25 в качестве второй точки для определения необходимого и достаточного числа колебаний n является оптимальным решением, позволяющим получить быстро и просто стандартизованный, достоверный и точный результат (C_v 28 равно 0,5...0,7%) вместо субъективного, длительного, сложного и не всегда возможного измерения всех амплитуд A_i 23.

На фиг.5 приведены расчетные величины декремента затухания δ для 4 вариантов расчета по формуле: $\delta = 1/n \{ \ln(A_0/A_i) \}$, где $i=1, \dots, n$; A_0 - стартовая амплитуда, с которой начинается отсчет затухающих колебаний 22: 1-й ряд значений 29 - A_0 в момент начала затухающих колебаний 22 (нулевая точка) - все точки в соотношении с нулевой: нулевая и первая, нулевая и вторая, ..., нулевая и n -я; 2-й ряд 30 построен только по 2-м соседним точкам, т.е. $n=1$; 3-й ряд 31 построен по 2-м несоседним точкам: нулевая и четвертая, первая и пятая, вторая и шестая и т.д., $n=3$; 4-й ряд 32 (горизонтальная прямая) построен по всем точкам, с применением метода наименьших квадратов для экспоненты $A_i = A_0 \exp(-Bt)$ (например, в уравнении для меди $B=1,8468E-02$, фиг.3 а). Необходимо учесть, что варианты с несколькими (или со всеми точками), например 1-й и 3-й, требуют усреднения результатов на основе их статистической обработки, что существенно усложняет процедуру эксперимента. Все варианты δ получены для чистой электротехнической меди, $t^\circ=1150^\circ\text{C}$ - а; и для - нирезистового чугуна, $t^\circ=1350^\circ\text{C}$ - б. Отметим, что в качестве стартовой A_0 может быть использована не нулевая амплитуда (при $t=0$), а любая A_i . Соответственно, изменится и A_e . Это может понадобиться, если из-за сбоя в ходе экспериментов возникают проблемы в начальной области затухающих колебаний 22. Данные фиг.5 показывают, что по сравнению с эталонным многоточечным вычисленным вариантом 32 наихудшие параметры обеспечивает построение 30 по 2-м соседним точкам при $n=1$, лучше - по 2-м несоседним точкам 31 при $n=3$, еще лучше - по всем точкам по отношению к нулевой A_0 29. Использование A_e в качестве второй точки 33 для определения n обеспечивает вполне приемлемые точностные параметры, близкие к эталонному многоточечному варианту 32, что подтверждает выводы, полученные при анализе фиг.3, 4. Например, для меди значение декремента затухания δ составило 0,077764 по 4-му варианту 32 (эталон) и 0,077666 с использованием A_e 33. Аналогично, близкие результаты и у чугуна: 0,059546 и 0,059613.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является упрощение и в большинстве случаев ускорение экспериментов с одновременным уменьшением угара расплава, при сохранении достоверности и точности определения амплитудно-временных параметров затухания крутильных колебаний тигля с расплавом в способе определения декремента затухания при бесконтактном измерении вязкости высокотемпературных металлических расплавов. Одновременно обеспечивается сравнение экспериментов.

Формула изобретения

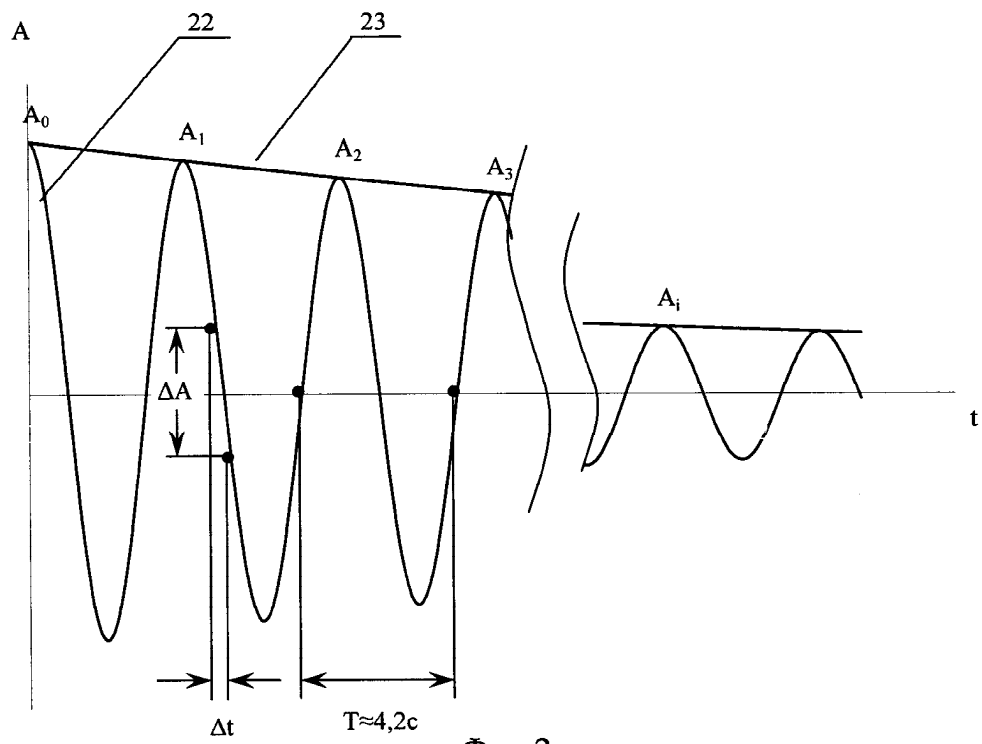
1. Способ определения декремента затухания при бесконтактном измерении вязкости высокотемпературных металлических расплавов, основанный на освещении световым лучом от источника света зеркала, расположенного на закручиваемой

упругой нити, на которой подвешен тигель с расплавом, регистрации амплитудно-временных параметров траектории светового луча, отраженного от этого зеркала, и последующем измерении полученного сигнала, отражающего параметры затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, определении величины нескольких амплитуд крутильных колебаний A_i : стартовой A_0 , с которой начинают измерение затухания крутильных колебаний тигля с расплавом, и A_n , в одной из которых заканчивают измерение и определяют число колебаний n_i между A_0 и A_n , вычислении на их основе логарифмического декремента затухания крутильных колебаний δ по формуле:

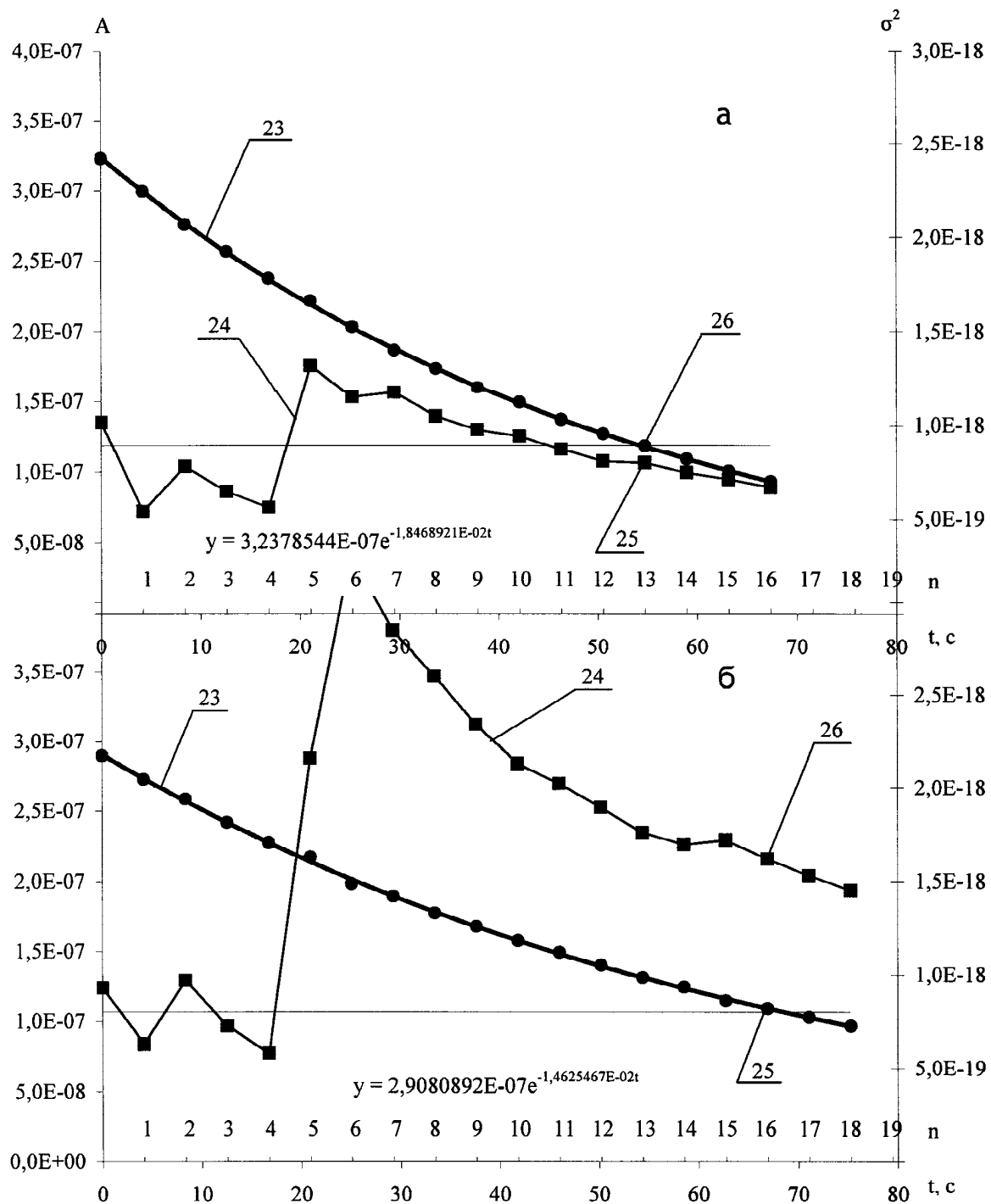
$$\delta = 1/n \{ \ln(A_0/A_n) \}$$

для последующего определения кинематической вязкости ν , отличающийся тем, что в качестве A_n используют измеренную амплитуду $A_n = A_e$ меньшей стартовой A_0 в e раз, где e - основание натуральных логарифмов, определяют число колебаний n между амплитудами A_0 и A_e , по этим параметрам вычисляют логарифмический декремент затухания δ по вышеуказанной формуле для последующего определения кинематической вязкости ν расплава.

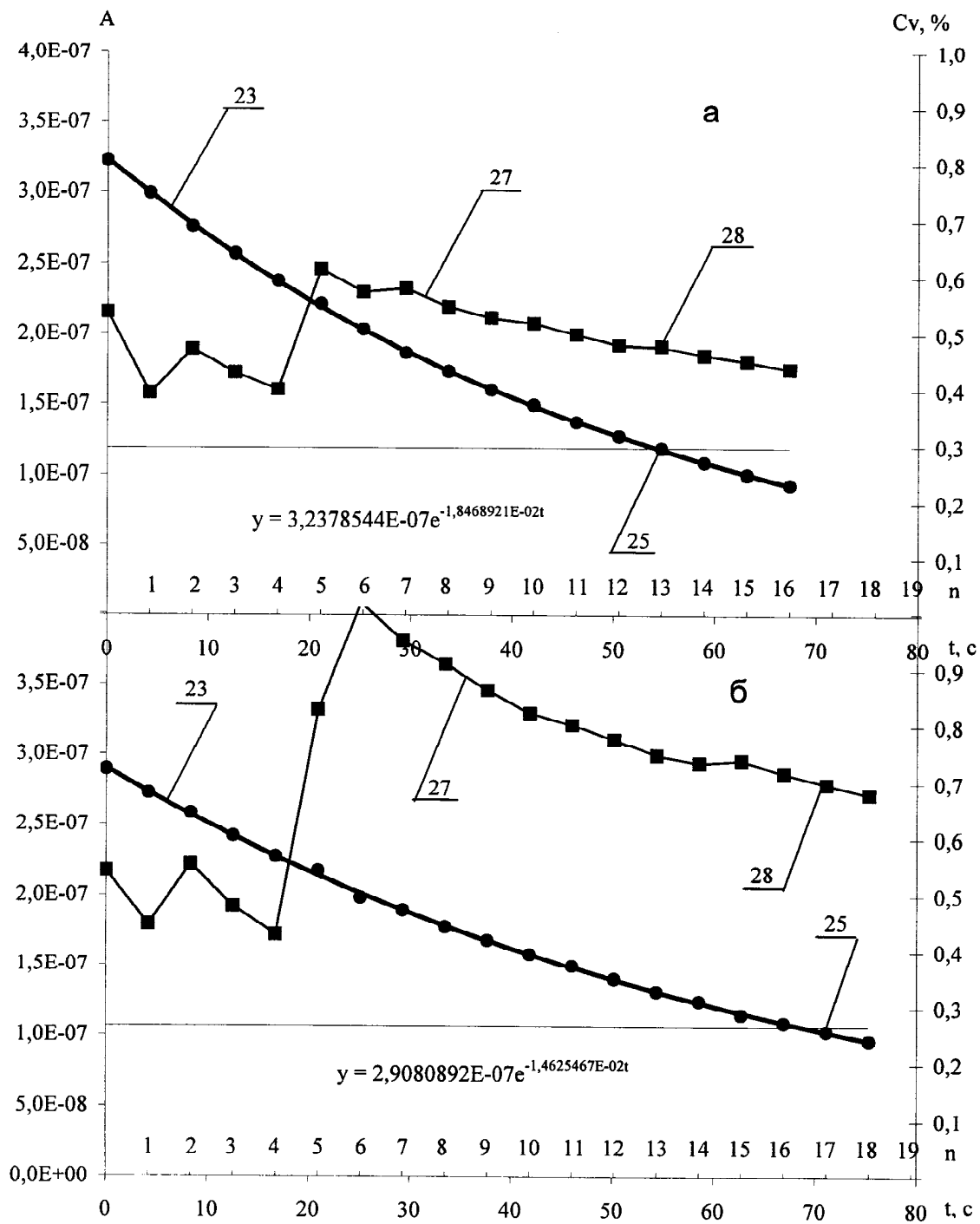
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве стартовой амплитуды A_0 выбирают любую (от первой до i -й), например 5-ю.



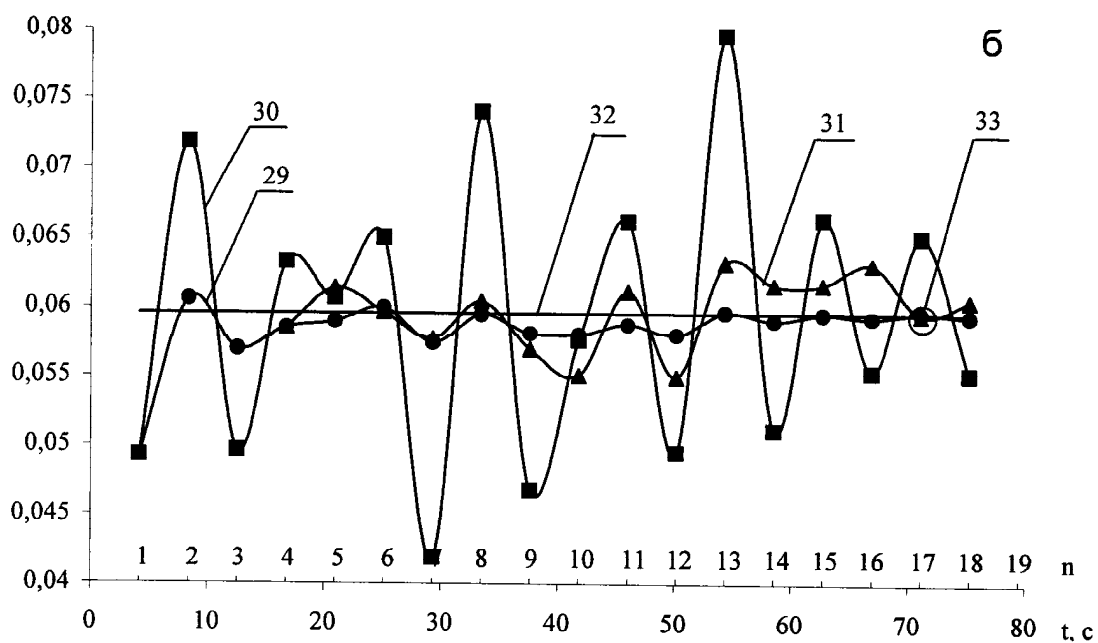
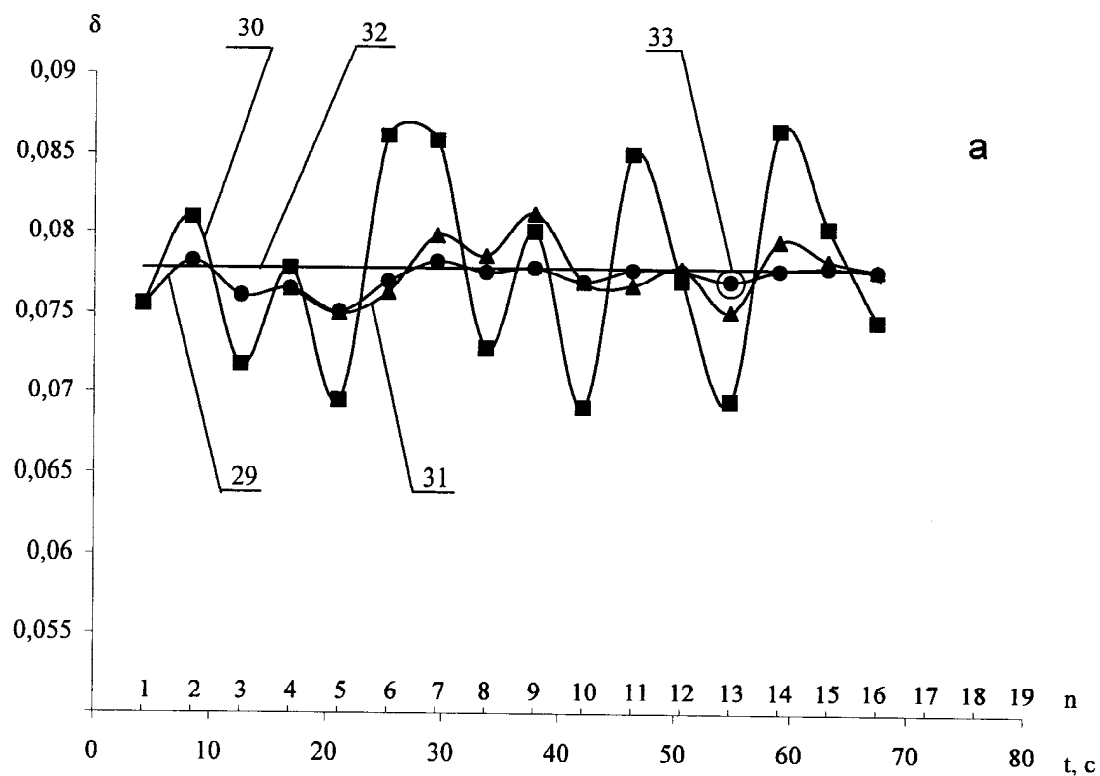
Фиг.2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг.5



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ИЗВЕЩЕНИЯ К ПАТЕНТУ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **08.04.2010**

Дата публикации: **10.01.2012**

RU 2 386 948 C2

RU 2 386 948 C2